

KEATING & BENNETT LLP
10400 Eaton Place, Suite 312
Fairfax, VA 22030
Telephone: (703) 385-5200
Facsimile: (703) 385-5080

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

JC978 U.S. PTO
09/996575
11/30/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 2月 1日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-025160

出 願 人

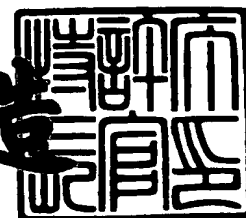
Applicant(s):

株式会社村田製作所

2001年 9月 5日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3082117

【書類名】 特許願

【整理番号】 10470

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 41/00
H01L 41/22

【発明者】

【住所又は居所】 京都府長岡京市天神 2 丁目 2 6 番 1 0 号 株式会社村田
製作所内

【氏名】 中島 幹雄

【特許出願人】

【識別番号】 000006231

【氏名又は名称】 株式会社村田製作所

【代表者】 村田 泰隆

【代理人】

【識別番号】 100085497

【弁理士】

【氏名又は名称】 筒井 秀隆

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 036618

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9004890

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 積層圧電体の分極方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数の圧電体層と複数の内部電極とを交互に積層し、隣合う圧電体層を厚み方向に互いに逆方向に分極する積層圧電体の分極方法において、上記積層圧電体に対し厚み方向に一方向の電界を印加し、厚み方向に一樣に分極する一次分極工程と、

上記内部電極の両側の圧電体層に互いに逆向きの電界を印加し、内部電極の片側の圧電体層の分極軸のみを反転させる二次分極工程とを備え、

上記二次分極は、分極軸が反転した圧電体層における二次分極後の残留分極度 P_{r2} が一次分極後の残留分極度 P_{r1} を越えない範囲で行われることを特徴とする積層圧電体の分極方法。

【請求項 2】 上記一次分極工程は、上記積層圧電体の厚み方向に第 1 の方向の電界を印加する第 1 の工程と、上記積層圧電体の厚み方向に第 1 の方向と逆方向の電界を印加する第 2 の工程とを含み、

上記第 2 の工程によって第 1 の工程で形成された積層圧電体の分極軸を一樣に反転させることを特徴とする請求項 1 に記載の積層圧電体の分極方法。

【請求項 3】 複数の圧電体層と複数の内部電極とを交互に積層し、隣合う圧電体層を厚み方向に互いに逆方向に分極する積層圧電体の分極方法において、

上記内部電極の両側の圧電体層に互いに逆向きの電界を印加し、内部電極の両側の圧電体層を互いに逆向きに分極する一次分極工程と、

上記内部電極の両側の圧電体層に、一次分極工程における電界と反対方向の電界を互いに逆向きに印加し、内部電極の両側の圧電体層の分極軸を反転させる二次分極工程とを備え、

上記二次分極は、分極軸が反転した圧電体層における二次分極後の残留分極度 P_{r2} が一次分極後の残留分極度 P_{r1} を越えない範囲で行われることを特徴とする積層圧電体の分極方法。

【請求項 4】 上記一次分極はブロック状の積層圧電体に対して行なわれ、二次分極はブロック状の積層圧電体を内部電極に対して垂直な方向に 1 素子分の幅で切

断してなる短冊状の積層圧電体に対して行われることを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の積層圧電体の分極方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えば携帯電話のフィルタなどに使用される積層圧電体の分極方法、特に複数の圧電体層と複数の内部電極とを交互に積層し、隣合う圧電体層を厚み方向に互いに逆方向に分極する積層圧電体の分極方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来、特性の設計自由度が大きく、スプリアスが小さく、共振周波数と反共振周波数との差 Δf を大きくできる長さモード圧電共振子が提供されている（特開平 1 0 - 4 3 3 0 号公報）。

図 1 はこの長さモード圧電共振子 1 0 の一例を示す。圧電共振子 1 0 は、複数の圧電体層 1 2 と複数の内部電極 1 3 とが交互に積層された基体 1 1 を持ち、内部電極 1 3 の両側の圧電体層 1 2 が互いに逆向きに分極されている。基体 1 1 の対向面には、1 つおきに内部電極 1 3 を被覆する絶縁膜 1 4, 1 5 が形成され、さらにその上に外部電極 1 6, 1 7 が形成されている。そのため、外部電極 1 6, 1 7 は内部電極 1 3 に対して 1 つおきに交互に接続される。

このような構造の圧電共振子 1 0 の場合、圧電体層 1 2 の分極度が特性に大きく影響するので、各素子内での分極度バラツキおよび素子間での分極度バラツキをできるだけ小さくすることが求められる。

【0003】

この種の圧電共振子は、ブロック状の積層圧電体を形成し、これを分極した後、細分することで製作する。積層圧電体の分極処理は、図 2 に示す方法で行なっている。1 はブロック状の圧電セラミックスよりなる積層圧電体であり、ここでは説明を簡単にするため 4 層の圧電体層 1 a ~ 1 d で構成されたものを示すが、実際には多層に積層されたものである。圧電体層 1 a ~ 1 d の間には内部電極 2 a ~ 2 c が設けられ、内部電極 2 a ~ 2 c は圧電体 1 の外側面に交互に引き出され

、側面電極 3, 4 と接続されている。そして、側面電極 3, 4 間に直流電界を印加することにより、内部電極 2 b の両側の圧電体層 1 b, 1 c を矢印 P で示すように互いに逆向きに分極し、所定の分極度を得ている。

【0004】

ところが、図 2 のような方法では、内部電極 2 a ~ 2 c の端部に電界が集中するため、分極度分布が均一にならないという問題があった。図 3 は 1 つの圧電体層における分極度分布の一例を示し、斜線は分極度を表す。図から分かるように、圧電体 1 に対し厚み方向に電界を印加すると、圧電体 1 の四隅部の分極度が著しく高くなり（凹状分布）、均一な分極度分布が得られない。その結果、このような分極度分布が不均一な圧電体層を積層したもの（ブロック）を短冊状に切り出し、さらに短冊をカットして素子として使用する場合、ブロックの周辺部の圧電体は使用できなくなり、圧電体の使用範囲（収率）が大きく制限されてしまうという問題があった。

【0005】

例えばラダー型フィルタに用いられる直列共振子（ $f_r = 450 \text{ kHz}$, $df = 55 \text{ kHz}$ ）用の積層圧電体を図 2 のような方法で分極すると、ブロック内の分極度 df のばらつきは約 10 kHz にも及ぶ大きな分布を示す。そのため、良品として使用できる素子はブロック中央付近から切り出された素子のみで、ブロック周辺の素子は殆ど分極不良となっていた。

【0006】

そこで、本願出願人は、積層圧電体の対向する主面の外部電極に電界を印加して、積層圧電体の厚み方向に一方向の分極（初期分極）を行った後、内部電極を交互に外部に引き出す側面電極を形成し、側面電極間に電界を印加して内部電極の片側の圧電体層の分極軸のみを反転させ（分極反転）、所望の分極度を得る方法を提案した（特願 2000-52743 号）。この方法は、図 4 に示すように、初期分極の段階では周辺部と中央部とで ΔP_1 の分極度ばらつきがある場合でも、逆方向の電界をかけて分極軸を反転させると、 ΔP_2 まで分極度ばらつきを小さくでき、初期分極時の分極度分布の不均一が是正されるという知見に基づいている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、分極軸が反転した圧電体層の飽和分極度 P_{\max} を、初期分極時の飽和分極度 P_{\max} とほぼ等しくなるまで分極すると、分極度ばらつきが小さくなったとは言え、分極反転させた圧電体層の分極度分布は反転前と同様に凹状になってしまう。そのため、上記の方法で分極軸が逆向きの圧電体層が交互に積層された積層圧電体を構成した場合、凹状分布を持つ分極反転した圧電体層と凹状分布を持つ分極反転しない圧電体層とが交互に積層されることになり、積層圧電体全体としてみると、必ずしも均一な分極度分布が得られない可能性があった。

【0008】

そこで、本発明の目的は、積層圧電体全体の分極度分布をできるだけ均一にし、収率の向上を図る積層圧電体の分極方法を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】

上記目的は、請求項1または3に記載の発明により達成される。

すなわち、請求項1に記載の発明は、複数の圧電体層と複数の内部電極とを交互に積層し、隣合う圧電体層を厚み方向に互いに逆方向に分極する積層圧電体の分極方法において、上記積層圧電体に対し厚み方向に一方向の電界を印加し、厚み方向に一樣に分極する一次分極工程と、上記内部電極の両側の圧電体層に互いに逆向きの電界を印加し、内部電極の片側の圧電体層の分極軸のみを反転させる二次分極工程とを備え、上記二次分極は、分極軸が反転した圧電体層における二次分極後の残留分極度 P_{r2} が一次分極後の残留分極度 P_{r1} を越えない範囲で行われることを特徴とする積層圧電体の分極方法を提供する。

また、請求項3に記載の発明は、複数の圧電体層と複数の内部電極とを交互に積層し、隣合う圧電体層を厚み方向に互いに逆方向に分極する積層圧電体の分極方法において、上記内部電極の両側の圧電体層に互いに逆向きの電界を印加し、内部電極の両側の圧電体層を互いに逆向きに分極する一次分極工程と、上記内部電極の両側の圧電体層に、一次分極工程における電界と反対方向の電界を互いに逆向きに印加し、内部電極の両側の圧電体層の分極軸を反転させる二次分極工程と

を備え、上記二次分極は、分極軸が反転した圧電体層における二次分極後の残留分極度 $P r_2$ が一次分極後の残留分極度 $P r_1$ を越えない範囲で行われることを特徴とする積層圧電体の分極方法を提供する。

【0010】

請求項1では、積層圧電体に対し厚み方向に一方向の電界を印加し、厚み方向に一樣に分極する一次分極を行う。次に、内部電極の両側の圧電体層に逆向きの電界を印加し、内部電極の片側の圧電体層の分極軸のみを反転させる二次分極を行う。

図5は請求項1にかかる分極方法の一例を示す。まず、積層圧電体1の表裏面に表裏電極5、6を形成し、積層圧電体1に対し厚み方向の直流電界を印加して厚み方向に一方向に分極（一次分極）する。その後、内部電極2a～2cを積層圧電体1の外側面に交互に引き出し、側面電極3、4と接続する。そして、側面電極3、4間に直流電界を印加することにより、内部電極2bの両側の圧電体層1b、1cに互いに逆向きの電界を印加し、内部電極2bの片側の圧電体層1bの分極軸のみを反転させる（二次分極）。なお、内部電極2bの他側の圧電体層1cは再分極されるだけで、分極軸は反転しない。

【0011】

本発明者は、二次分極時の分極条件を変えて種々実験を行ったところ、二次分極の進行度（残留分極度）によって、分極軸が反転した圧電体層1bの分極度分布が変化することを発見した。

図6は二次分極の進行に伴う2つの圧電体層1b、1cにおける分極度分布の変化の一例をモデル化して示したものである。矢印は分極方向を示す。

(a)は一次分極後の分極度分布であり、共に凹状分布を有する。(b)～(d)は二次分極の進行に伴う分極度分布の変化を示す。なお、 $P r_1$ は一次分極による残留分極度、 $P r_2$ は二次分極による残留分極度を示す。

図6から明らかなように、圧電体層1bの分極度分布は、分極軸が反転した当初は(b)，(c)のように凸状あるいはフラットな分布を示すが、やがて(d)のように凹状に変化する。なお、図6では(b)，(c)における圧電体層1bの分極度分布が凸状の例を示すが、材料によってはほぼフラットな分布を示すも

のもある。このように二次分極が進み過ぎると、圧電体層 1 b の分極度分布は一次分極時と同様な凹状の分布（ただし分極方向は逆）になってしまう。なお、再分極された圧電体層 1 c の分極度分布は依然として凹状のままである。

したがって、(d) のように逆分極が進み過ぎた状態では、分極反転した圧電体層 1 b の分極度分布と分極反転しない圧電体層 1 c の分極度分布とが共に凹状となり、圧電体全体としてみると均一な分極度分布にならない。

【 0 0 1 2 】

そこで、請求項 1 では、分極軸が反転した圧電体層 1 b の分極度分布が凸状あるいはフラットとなる範囲で二次分極を停止するものである。つまり、二次分極後の残留分極度 $P r_2$ が一次分極後の残留分極度 $P r_1$ を越えない範囲で二次分極している。

$$P r_1 \geq P r_2$$

このようにすれば、分極軸が反転した圧電体層 1 b の分極度分布が凸状あるいはフラットで、分極軸が反転しない圧電体層 1 c の分極度分布が凹状であるから、両層の総和として凸状の分極度分布と凹状の分極度分布とが相殺し合うか、あるいは凹状分布の不均一度が相対的に低減され、積層圧電体 1 全体としてみると、ほぼ均一な分極度分布が得られる。その結果、圧電体の使用範囲が拡がり、収率が向上する。

なお、 $P r_1 > P r_2$ の場合には、2 つの層 1 b, 1 c の分極度の大きさがアンバランスになるが、分極度分布がほぼ均一であれば、長さ振動モード素子としての共振特性には悪影響がない。

特に、 $P r_2 \doteq P r_1$ とすれば、図 6 の (c) のように 2 つの層 1 b, 1 c の分極度の大きさがほぼ等しく、均一な分布の積層圧電体と等価になり、最も良好な特性となる。

【 0 0 1 3 】

請求項 2 では、一次分極工程が、積層圧電体の厚み方向に第 1 の方向の電界を印加する第 1 の工程と、積層圧電体の厚み方向に第 1 の方向と逆方向の電界を印加する第 2 の工程とを含み、第 2 の工程によって第 1 の工程で形成された積層圧電体の分極軸を一様に反転させることを特徴としている。

すなわち、一次分極、つまり積層圧電体に対し厚み方向に一様に分極する工程を 1 回だけ実施してもよいが、図 4 の初期分極と同様に、分極度分布が凹状になり、中央部と端部との差 ΔP_1 が大きい。そこで、一次分極を複数回実施し、積層圧電体全体にわたって分極軸を反転させれば、図 4 の分極反転と同様に、中央部と端部との差 ΔP_2 が小さくなり、分極度分布の不均一を是正することができる。このように一次分極における分極度分布の不均一を是正することで、二次分極後の圧電体層の分極度分布の不均一も是正される。

なお、第 2 の工程の回数は 1 回に限らず、複数回実施してもよい。

【 0 0 1 4 】

請求項 3 では、まず内部電極の両側の圧電体層に互いに逆向きの電界を印加し、内部電極の両側の圧電体層を互いに逆向きに分極する一次分極を行う。一次分極の後、内部電極の両側の圧電体層に、上記電界と反対方向の電界を互いに逆向きに印加し、内部電極の両側の圧電体層の分極軸を反転させる二次分極を行う。つまり、内部電極の両側の圧電体層が最初に分極軸方向と反転する。

図 7 は請求項 3 にかかる分極方法の一例を示す。まず、内部電極 2 a ~ 2 c を積層圧電体 1 の外側面に交互に引き出し、これら内部電極 2 a ~ 2 c と導通する側面電極 3, 4 を形成する。そして、側面電極 3, 4 間に直流電界を印加することにより、内部電極 2 b の両側の圧電体層 1 b, 1 c を互いに逆向きに分極する（一次分極）。この分極工程は、従来（図 2 参照）における分極工程と同じである。次に、側面電極 3, 4 間に逆方向の直流電界を印加し、内部電極 2 b の両側の圧電体層 1 b, 1 c の分極軸を同時に反転させる（二次分極）。

この場合も、分極軸が反転した圧電体層 1 b, 1 c における二次分極後の残留分極度 P_{r2} が一次分極後の残留分極度 P_{r1} を越えない範囲で、二次分極を行う。

この場合には、内部電極 2 b の両側の圧電体層 1 b, 1 c の分極軸が反転し、再分極層が存在しないので、2 つの層 1 b, 1 c の分極条件が同じになり、分極度分布の均一化を図るとともに、2 つの層 1 b, 1 c の分極度の大きさを同じにできる。

【 0 0 1 5 】

図 8 は図 7 に示す方法で 2 次分極を行った場合の圧電体層 1 b, 1 c における分極度分布の変化を示す。矢印は分極方向を示す。

(a) は一次分極後の分極度分布であり、共に凹状分布を有する。(b) ~ (d) は二次分極の進行に伴う分極度分布の変化を示す。二次分極によって分極軸が反転した後、2 つの層 1 b, 1 c の分極度がほぼ等しく、その分極度分布が共にフラットあるいはやや凸状の分布となり、両層 1 b, 1 c の分極度分布の不均一度が低減される。そして、残留分極度 P_{r2} を一次分極による残留分極度 P_{r1} とほぼ一致するまで二次分極を行うと、(c) のように 2 つの層 1 b, 1 c が共にフラットあるいはやや凸状の分布で、かつ分極度も高くなり、理想的な分布となる。二次分極がさらに進行すると、(d) のように凹状の分布となる。

したがって、 $P_{r1} \geq P_{r2}$ となるように二次分極条件を設定することで、全体として均一な分極度分布を持つ積層圧電体 1 を得ることができる。

【0016】

請求項 4 のように、一次分極工程をブロック状の積層圧電体に対して行ない、二次分極工程を短冊状の積層圧電体に対して行うのが望ましい。

すなわち、生産性を高めるためには、一次分極および二次分極を共にブロック状の積層圧電体に対して行なうのがよいが、一次分極時における分極度分布の不均一は図 3 に示すように 3 次元的に現れるので、ブロック状態のまま二次分極を行うと、分極度分布の不均一を解消しにくい。

そこで、短冊状に切り出した後で二次分極を行なえば、各短冊の分極度分布に応じて電界強度や時間を設定できるので、短冊間および短冊内の分極度バラツキを小さくすることが可能となる。

【0017】

請求項 1 の場合には、一次分極を行った積層圧電体は、厚み方向に一様に分極されているので、長さ振動が励振されない。そこで、拡がり振動モードの共振周波数と反共振周波数との差 DF を求め、これを分極度としている。一方、二次分極を行った積層圧電体は分極方向が相反する層を有するので、長さ振動が励振され、この長さ振動モードの共振周波数と反共振周波数との差 df を求めて分極度としている。このように振動モードの異なる 2 種類の分極度をそのまま比較できな

いので、一次分極後の積層圧電体の拡がり振動の DF を電気機械結合係数 K に換算して残留分極度 P_{r1} とし、二次分極後の積層圧電体の長さ振動の df を電気機械結合係数 K に換算して残留分極度 P_{r2} とし、この残留分極度 P_{r1} 、 P_{r2} を比較することで、二次分極の範囲を決定している。

また、請求項 3 の場合には、一次分極を行った積層圧電体の段階で、分極方向が相反する層を有するので、長さ振動が励振される。そのため、一次分極の残留分極度 P_{r1} も二次分極の残留分極度 P_{r2} も共に、長さ振動の共振周波数と反共振周波数との差 df を電気機械結合係数 K に換算した値から求めることができる。

【0018】

【発明の実施の形態】

図 9 は所定の PZT 系圧電セラミックスについて、一次分極の残留分極度 $P_{r1} = 50 \text{ kHz}$ とした場合に、二次分極の印加電圧を変化させた時の短冊での分極軸が反転する層（分極反転層と呼ぶ）の分極度 P_{r2} の変化を示し、図 10 は図 9 の A～F の各点における分極度分布を示している。なお、参考までに、図 9 には印加電圧を変化させた時の圧電体層（正分極層と呼ぶ）の分極度の変化も図示してある。圧電体層の厚みは 0.56 mm とした。

【0019】

図 9、図 10 から明らかなように、分極反転層では二次分極の電圧上昇に伴って減極し、約 900 v で分極軸が反転し、それ以後は分極度が上昇する。分極反転後、二次分極の電圧が約 1000 v 付近になると、分極反転層の残留分極度 P_{r2} が約 50 kHz となり、一次分極の残留分極度 P_{r1} とほぼ等しくなる。二次分極の電圧が $900 \text{ v} \sim$ 約 1000 v 付近になるまでの間（D 点、E 点参照）、分極度分布がほぼフラットあるいはやや凸状であり、約 1000 v 付近以上になると（F 点参照）、分極度分布が凹状になることがわかる。

よって、この場合の二次分極の電圧は、 $P_{r1} \geq P_{r2}$ の範囲、つまり $900 \text{ v} \sim 1000 \text{ v}$ の範囲とすればよい。

【0020】

なお、正分極層では 500 v を越えるまでは分極度が 0 のままであるが、それ以

後、分極度が上昇する。その間、短冊内での分極度分布は凹状のままで変化しない。

図 9, 図 10 には、再分極を行った圧電体層については図示していないが、再分極層の場合には、二次分極における電界が一次分極における分極度を越えるまで変化せず、一次分極の分極度を越えて初めて、二次分極における分極度が優勢となる。その間、正分極層と同様に短冊内での分極度分布は凹状のままで変化しない。

【0021】

以下に、本発明に係る積層圧電体の分極方法の実施例と比較例とを説明する。本実施例では、長さモード圧電共振子 ($df = 55 \text{ kHz}$) の材料として PZT 系の積層圧電体を用いた。

【0022】

〔第 1 実施例〕

図 11 は第 1 実施例の長さモード圧電共振子の製造工程を示す。

まず、圧電セラミックスよりなるグリーンシートの片面に銀、パラジウム、有機バインダなどを含む内部電極用の導電ペーストを塗布し、これを交互に積層し、約 1200°C で一体的に焼成して $20 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} \times 3.9 \text{ mm}$ のブロック状の積層圧電体 1 を形成した。そして、このブロック 1 の表裏面に表裏電極 5, 6 を形成し、恒温槽において表裏電極 5, 6 間に直流電界を印加し、一次分極を行った (図 11 の (a) 参照)。

一次分極の条件は、電界: 1.5 kV/mm 、分極時間: 10 min 、保持温度: 70°C で一定とした。その後、 $150^\circ\text{C} \times 1 \text{ hr}$ の条件でエージング処理を行った。

【0023】

次に、一次分極後のブロック状積層圧電体 1 の側面に、内部電極を交互に引き出すための側面電極 3, 4 を形成した。そして、この積層圧電体 1 をダイサーを用いて、内部電極 2a ~ 2c に対して垂直な方向に 1 素子分の幅で短冊状に切り出した。切り出された短冊 1A に対し、側面電極 3, 4 により直流電界を印加し、二次分極を行った (図 11 の (b) 参照)。この時、個々の短冊 1A の分極度を

分極時間の制御により所定値に揃えた。

二次分極の条件は、電界：1.5 kV/mm、分極温度：70℃で一定とした。
分極時間を制御して、所定の分極度（長さモード素子の分極度 $df = 55 \text{ kHz}$ に対応した短冊の分極度）に調整した。その後、250℃×1 hr の条件でエージング処理を行った。

【0024】

二次分極の範囲は、二次分極後の短冊1Aの長さ振動モードの共振周波数と反共振周波数との差 df を電気機械結合係数 K に換算した値（残留分極度 P_{r2} ）が、一次分極後のブロック1の拡がり振動モードの共振周波数と反共振周波数との差 DF を電気機械結合係数 K に換算した値（残留分極度 P_{r1} ）を越えない範囲としている。すなわち、

$$P_{r1} \geq P_{r2}$$

二次分極後の短冊1Aに対し、側面に露出した電極を1つおきに絶縁材で被覆し、その上に銀電極を形成した。これをダイサーで切断して、1.5 mm×1.5 mm×3.8 mmの長さモード圧電共振子1Bを得た（図11の（c）参照）。この圧電共振子1Bの具体的構造は、図1と同様であるから、ここでは説明を省略する。

【0025】

〔比較例〕

第1実施例と同様な方法でブロック状の積層圧電体を形成し、その側面に内部電極を交互に引き出すための側面電極を形成し、恒温槽において積層圧電体の側面電極に直流電界を印加し、分極を行った（図2参照）。

分極条件は、電界：1.5 kV/mm、保持温度：70℃で一定とした。分極時間を制御して、所定の分極度 $DF = 2.0 \pm 0.2 \text{ kHz}$ に調整した。この場合の分極度 DF は、ブロックの拡がり振動モードの共振周波数と反共振周波数との差から求めた。

その後、250℃×1 hr の条件でエージング処理を行い、所定寸法にカットして長さモード圧電共振子を得た。

【0026】

上記のようにして得られた 2 種類の素子のインピーダンスの周波数特性を測定し、共振周波数と反共振周波数との差として、 $df = 55 \text{ kHz}$ の値を得た。

表 1、表 2 は、特性分類工程での第 1 実施例と比較例の分極度 df および共振周波数 fr のロット変動における比較を示す。 σ_{n-1} は標準偏差、 r は最大値と最小値との差である。

【0027】

【表 1】

－第 1 実施例－					
評価工法 (3ロット)					
		評価ロット①	評価ロット②	評価ロット③	平均値
df	ave	56.15	55.82	55.03	55.67
	σ_{n-1}	0.90	0.92	0.90	0.91
	max	58.5	58.5	58.5	58.50
	min	54	53.5	52.5	53.33
	r	4.5	5	6	5.17
単位：kHz					
		評価ロット①	評価ロット②	評価ロット③	平均値
fr	ave	450.8	449.72	449.86	450.13
	σ_{n-1}	0.90	1.03	1.10	1.01
	max	454	454	454.5	454.17
	min	448	447	447	447.33
	r	6	7	7.5	6.83
単位：kHz					

【0028】

【表 2】

－比較例－

評価工法 (5ロット)

		ロット①	ロット②	ロット③	ロット④	ロット⑤	平均値
df	ave	56.44	56.22	56.41	56.69	56.31	56.41
	σ_{n-1}	2.16	1.97	2.09	2.01	1.97	2.04
	max	63.00	62.50	62.50	63.00	63.00	62.80
	min	52.50	51.50	52.50	53.00	53.00	52.50
	r	10.50	11.00	10.00	10.00	10.00	10.30

単位：KHz

		ロット①	ロット②	ロット③	ロット④	ロット⑤	平均値
fr	ave	448.99	448.69	448.63	448.96	447.88	448.63
	σ_{n-1}	1.37	1.41	1.19	1.29	1.15	1.28
	max	452.50	452.00	451.50	452.00	450.50	451.70
	min	444.50	443.50	444.50	445.00	444.50	444.40
	r	8.00	8.50	7.00	7.00	6.00	7.30

単位：KHz

【0029】

表 1、表 2 から明らかなように、 df の標準偏差 σ_{n-1} の平均値で比較すると、第 1 実施例では 0.91 kHz 、比較例では 2.04 kHz であり、第 1 実施例

は比較例に比べて、分極度 $d f$ のばらつきを約 $1/2$ に改善できた。また、共振周波数 f_r の標準偏差 σ_{n-1} の平均値で比較すると、第 1 実施例では 1.01 kHz 、比較例では 1.28 kHz であり、共振周波数 f_r で約 30% のばらつきを改善できた。

【0030】

〔第 2 実施例〕

図 12 は第 2 実施例の長さモード圧電共振子の製造工程を示す。

この実施例では、ブロック 1 の段階で一次分極を複数回実施し（図 12 の（a）および（b）参照）、ブロック 1 全体に亘って分極軸を反転させたものである。この場合には、図 4 の分極反転と同様に、中央部と端部との差 ΔP_2 が小さくなるので、（c）で短冊 1 A にカットした段階で、短冊 1 A 間および短冊 1 A 内の分極度ばらつき（凹状分布）が小さくなる。そのため、（c）で二次分極を行うと、二次分極後の再分極された圧電体層 1 c の凹状の分極度分布が均一化される。

なお、（b）の工程の回数は 1 回に限らず、複数回実施してもよい。

【0031】

表 3 は、第 2 実施例における分極度 $d f$ および共振周波数 f_r のロット変動を示す。

表 3 から明らかなように、分極度 $d f$ の標準偏差 σ_{n-1} の平均値は 0.85 kHz 、共振周波数 f_r の標準偏差 σ_{n-1} の平均値は 0.96 kHz であり、第 1 実施例に比べてさらにばらつきを改善できた。

【0032】

【表 3】

- 第 2 実施例 -

評価工法 (3ロット)

		評価ロット①	評価ロット②	評価ロット③	平均値
df	ave	53.93	53.44	54.03	53.80
	σ_{n-1}	0.96	0.71	0.87	0.85
	max	58.00	55.00	57.50	56.83
	min	50.00	51.50	52.00	51.17
	r	8.00	3.50	5.50	5.67

単位: KHz

		評価ロット①	評価ロット②	評価ロット③	平均値
fr	ave	449.15	448.93	449.06	449.05
	σ_{n-1}	0.85	0.97	1.06	0.96
	max	451.50	452.00	451.50	451.67
	min	446.00	446.00	446.50	446.17
	r	5.50	6.00	5.00	5.50

単位: KHz

【0033】

【第 3 実施例】

図 1 3 は第 3 実施例の長さモード圧電共振子の製造工程を示す。

圧電セラミックスよりなるグリーンシートの片面に銀，パラジウム，有機バインダなどを含む内部電極用の導電ペーストを塗布し、これを交互に積層し、約 1200℃で一体的に焼成して 20mm×30mm×3.9mm のブロック状の積層圧電体 1 を形成した。そして、積層圧電体 1 の側面に内部電極を交互に引き出すための側面電極 3，4 を形成し、恒温槽において側面電極間に直流電界を印加し、一次分極を行った（図 1 3 の (a) 参照）。

一次分極の条件は、電界：1.5kV/mm、分極時間：10min、保持温度：70℃で一定とした。その後、150℃×1hr の条件でエージング処理を行った。

【0034】

次に、エージング後のブロック状積層圧電体 1 をダイサーを用いて、内部電極に対して垂直な方向に 1 素子分の幅で短冊状に切り出した。切り出された短冊 1 A に対し、側面電極 3，4 により直流電界を印加し、二次分極を行った（図 1 3 の (b) 参照）。この時、短冊 1 A への電圧印加の方向は、一次分極と逆方向に行った。個々の短冊 1 A の分極度を分極時間の制御により所定値に一定に揃えた。二次分極の条件は、電界：1.5kV/mm、分極温度：70℃で一定とした。

分極時間を制御して、所定の分極度（長さモード素子の分極度 $d f = 55 \text{ kHz}$ に対応した短冊の分極度）に調整した。その後、 $250^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ hr}$ の条件でエージング処理を行った。

【0035】

ここでも、二次分極の範囲は、二次分極後の短冊の長さ振動モードの共振周波数と反共振周波数との差 $d f$ を電気機械結合係数 K に換算した残留分極度 $P r_2$ が、一次分極後のブロックの長さ振動モードの共振周波数と反共振周波数との差 $D F$ を電気機械結合係数 K に換算した残留分極度 $P r_1$ を越えない範囲としている。すなわち、

$$P r_1 \geq P r_2$$

二次分極後の短冊 1 A に対し、側面に露出した電極を 1 つおきに絶縁材で被覆し、その上に銀電極を形成した。これをダイサーで切断して、 $1.5 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm} \times 3.8 \text{ mm}$ の長さモード圧電共振子 1 B を得た。この圧電共振子 1 B の構造も第 1 実施例の圧電共振子と同じである。

【0036】

第 3 実施例における圧電共振子と、比較例における圧電共振子について、そのインピーダンスの周波数特性を測定し、共振周波数と反共振周波数との差として $d f = 55 \text{ kHz}$ の値を得た。

表 4 は、第 3 実施例における分極度 $d f$ および共振周波数 $f r$ のロット変動を示す。

表 4 から明らかなように、分極度 $d f$ の標準偏差 σ_{n-1} の平均値は 1.03 kHz 、共振周波数 $f r$ の標準偏差 σ_{n-1} の平均値は 0.92 kHz であり、分極度 $d f$ のばらつきは第 1 実施例に比べてやや大きい、共振周波数 $f r$ のばらつきは 3 つの実施例の中で最も小さい。

【0037】

【表 4】

- 第 3 実施例 -

評価工法 (3 ロット)

		評価ロット①	評価ロット②	評価ロット③	平均値
df	ave	54.72	54.91	55.91	55.18
	σ_{n-1}	0.96	0.99	1.14	1.03
	max	56.53	55.82	58.15	56.83
	min	51.61	50.44	52.50	51.52
	r	4.91	5.38	5.65	5.31

単位: KHz

		評価ロット①	評価ロット②	評価ロット③	平均値
fr	ave	450.62	449.56	452.26	450.81
	σ_{n-1}	0.71	0.93	1.12	0.92
	max	451.90	450.98	454.00	452.29
	min	447.93	446.20	448.68	447.60
	r	3.97	4.78	5.32	4.69

単位: KHz

【0038】

本発明の分極方法は、上記実施例に限定されるものではない。

例えば、図 11～図 13 では、短冊状の圧電体 1 A に対して 1 回だけ二次分極を行なったが、二次分極を複数回繰り返してもよい。つまり、電界方向を逆にして分極軸の反転を複数回繰り返してもよい。

また、量産性および分極度分布を考慮して、ブロック状の積層圧電体に対して一次分極を行い、短冊状の積層圧電体に対して二次分極を行うようにしたが、ブロック状の積層圧電体に対して一次分極および二次分極を行ってもよいし、短冊状の積層圧電体に対して一次分極および二次分極を行ってもよい。

【0039】

なお、第 1 実施例および第 2 実施例 (図 5, 6, 11, 12) において、二次分極後、分極軸が反転した圧電体層の残留分極度を仮に P_{r2} として説明した。これは理解しやすいようにモデル化したものであって、実際にはこれらの例では二次分極後の短冊全体 (再分極層および分極軸が反転した圧電体層を含む) を長さ振動モードで励振させて、その残留分極度を P_{r2} とした。

【0040】

【発明の効果】

以上の説明で明らかなように、請求項 1 に記載の方法によれば、積層圧電体を厚み方向に一様に分極する一次分極を行った後、内部電極の片側の圧電体層の分極

軸のみを反転させる二次分極を行う場合に、分極軸が反転した圧電体層における二次分極後の残留分極度 P_{r2} が一次分極後の残留分極度 P_{r1} を越えない範囲で二次分極を行うようにしたので、分極軸が反転した圧電体層の分極度分布が凸状あるいはフラットとなる範囲で二次分極を停止させることができる。そのため、分極軸が反転した圧電体層の分極度分布が凸状あるいはフラットで、分極軸が反転しない圧電体層の分極度分布が凹状であるから、積層圧電体全体としてみると、ほぼ均一な分極度分布が得られる。その結果、積層圧電体を切り出して使用するとき、その使用範囲が拡がり、収率が向上する。

【0041】

また、請求項2に記載の方法によれば、内部電極の両側の圧電体層を互いに逆向きに分極する一次分極を行った後、内部電極の両側の圧電体層の分極軸を反転させる二次分極を行う場合に、分極軸が反転した圧電体層における二次分極後の残留分極度 P_{r2} が一次分極後の残留分極度 P_{r1} を越えない範囲で二次分極を行うようにしたので、反転分極しない圧電体層が残らず、分極度分布を一層均一化できるとともに、隣合う圧電体層の分極度がほぼ等しいので、良好な共振特性を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明が対象とする圧電共振子の一例の斜視図である。

【図2】

従来の積層圧電体の分極方法を示す図である。

【図3】

図2の方法で分極されたブロック状圧電体の分極度分布を示す斜視図である。

【図4】

初期分極時と分極反転時の分極度分布を示す図である。

【図5】

請求項1にかかる分極方法の一例を示す工程図である。

【図6】

図5に示す分極方法を行った時の隣合う二つの圧電体層の分極度分布の変化を示

す図である。

【図 7】

請求項 3 にかかる分極方法の一例を示す工程図である。

【図 8】

図 7 に示す分極方法を行った時の隣合う二つの圧電体層の分極度分布の変化を示す図である。

【図 9】

二次分極の印加電圧を変化させたとき、分極反転層の分極度の変化を示す図である。

【図 1 0】

図 9 の A ～ F の各点における分極度分布図である。

【図 1 1】

本発明の第 1 実施例における分極方法の一例を示す工程図である。

【図 1 2】

本発明の第 2 実施例における分極方法の一例を示す工程図である。

【図 1 3】

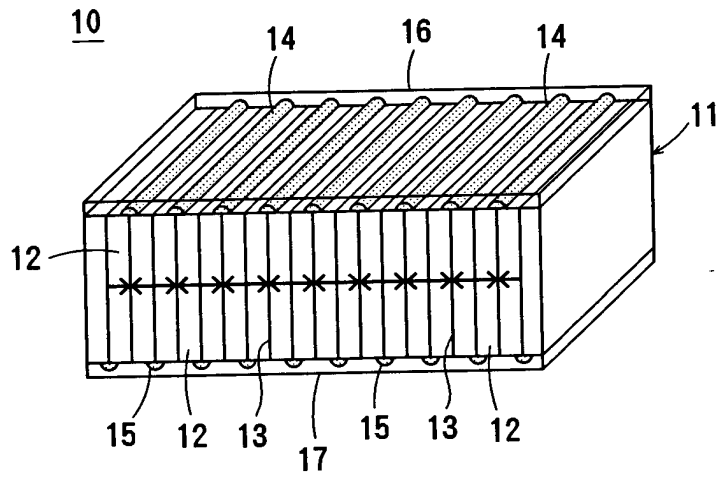
本発明の第 3 実施例における分極方法の一例を示す工程図である。

【符号の説明】

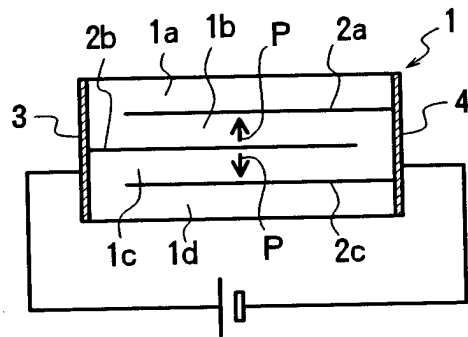
1	ブロック状積層圧電体
1 A	短冊状積層圧電体
1 B	素子状積層圧電体
1 a ～ 1 d	圧電体層
2 a ～ 2 c	内部電極
3, 4	側面電極
5, 6	表裏面電極

【書類名】 図面

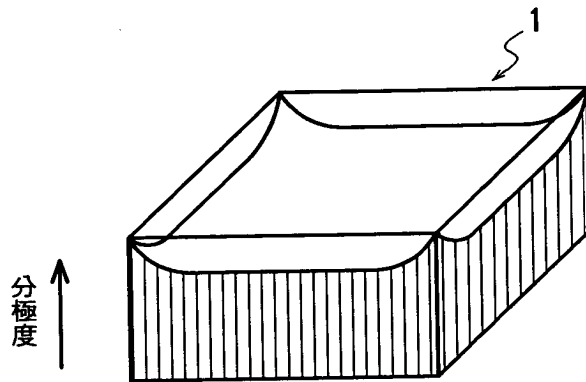
【図 1】



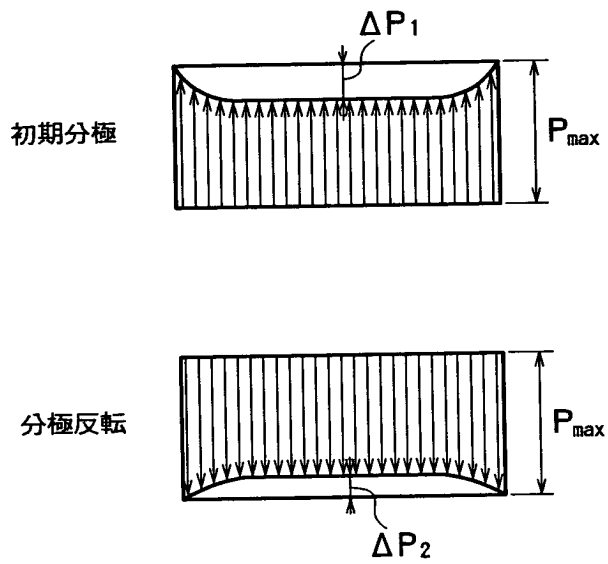
【図 2】



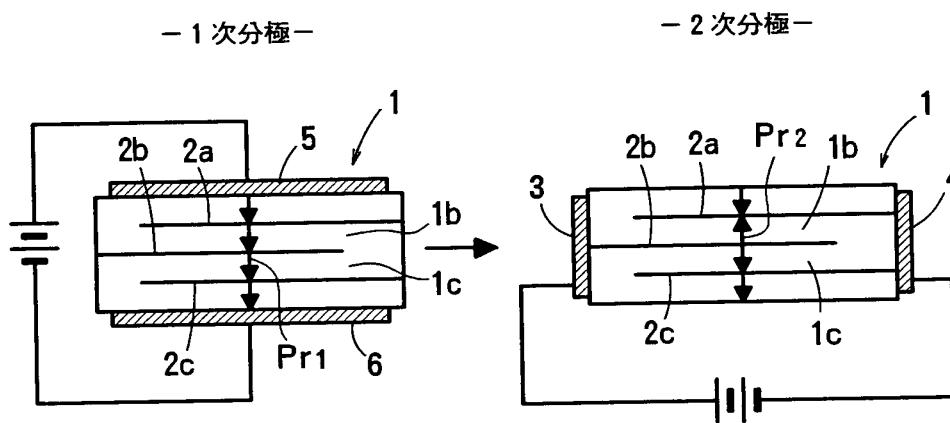
【図 3】



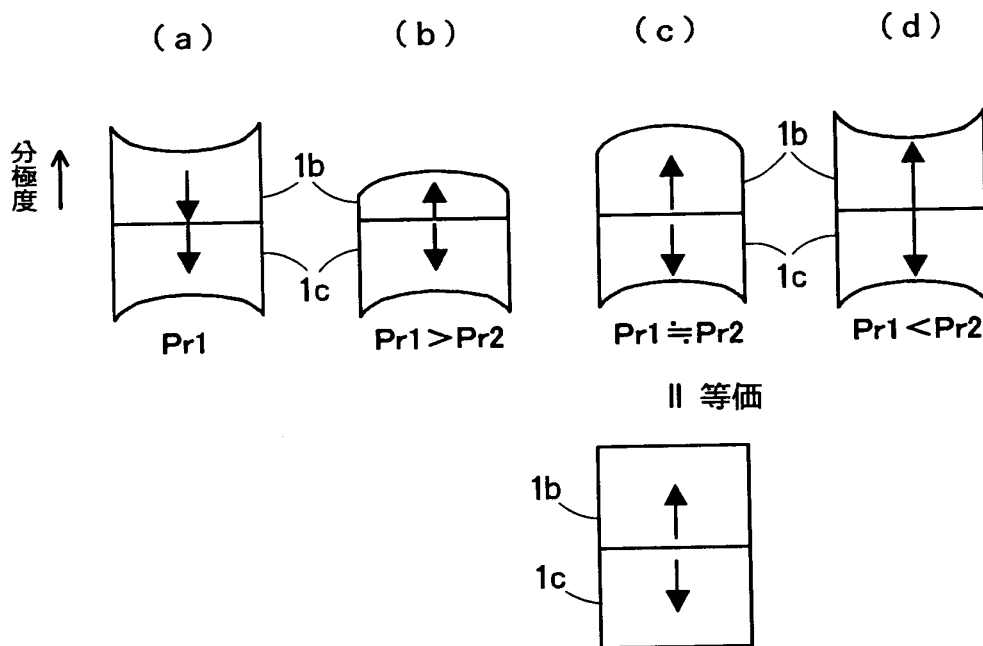
【図 4】



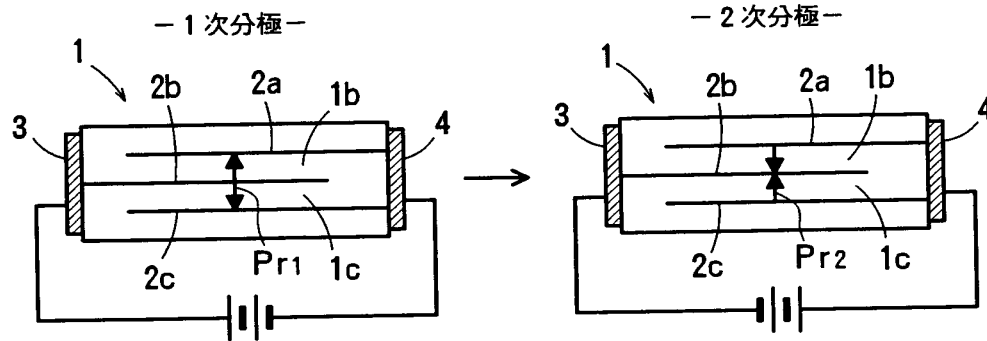
【図 5】



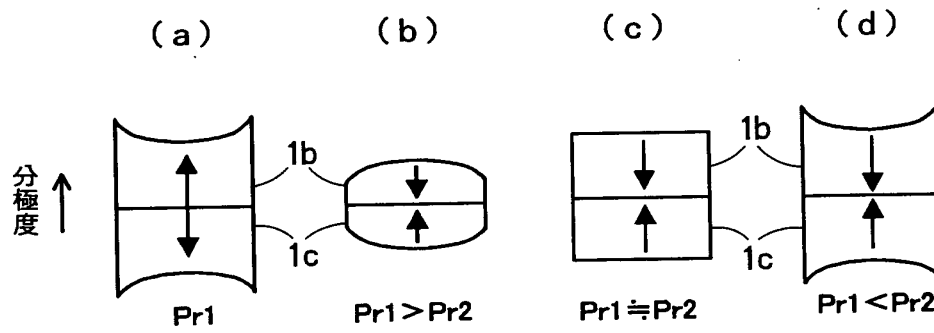
【図 6】



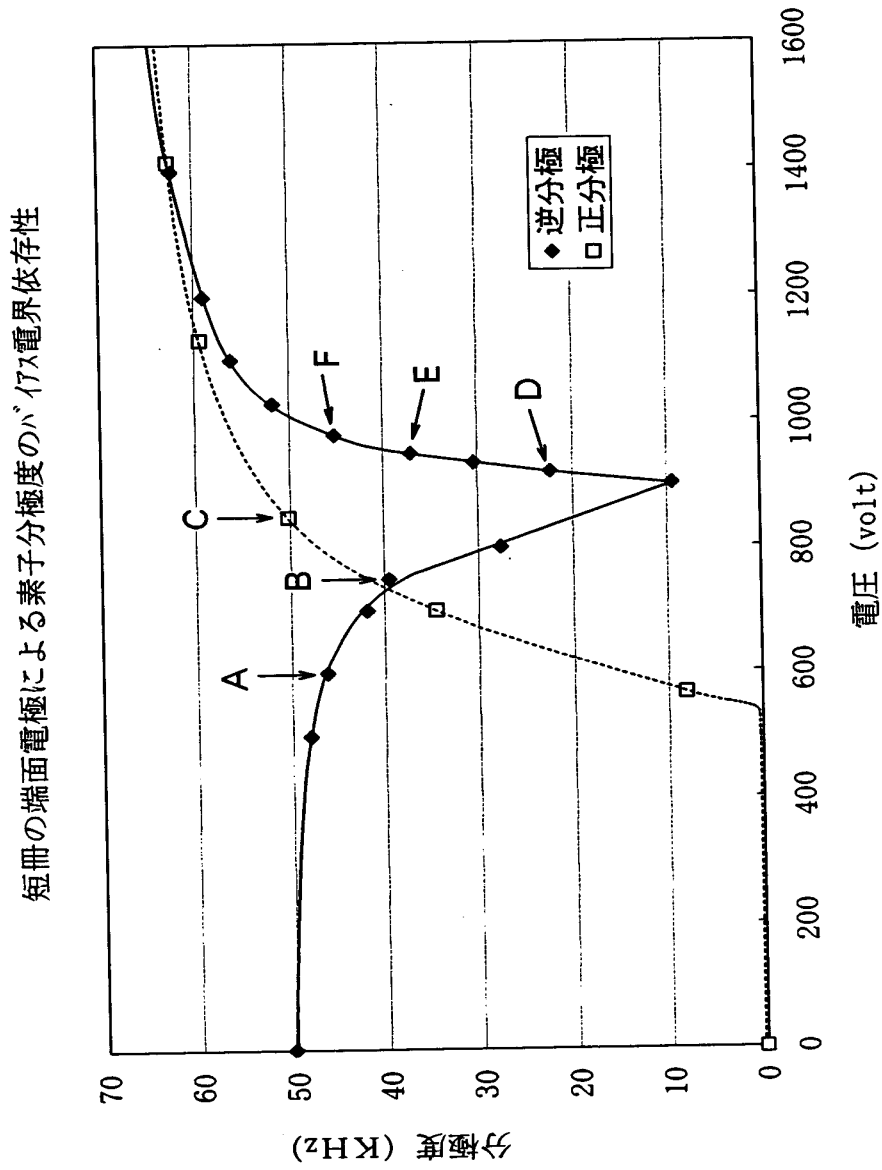
【図 7】



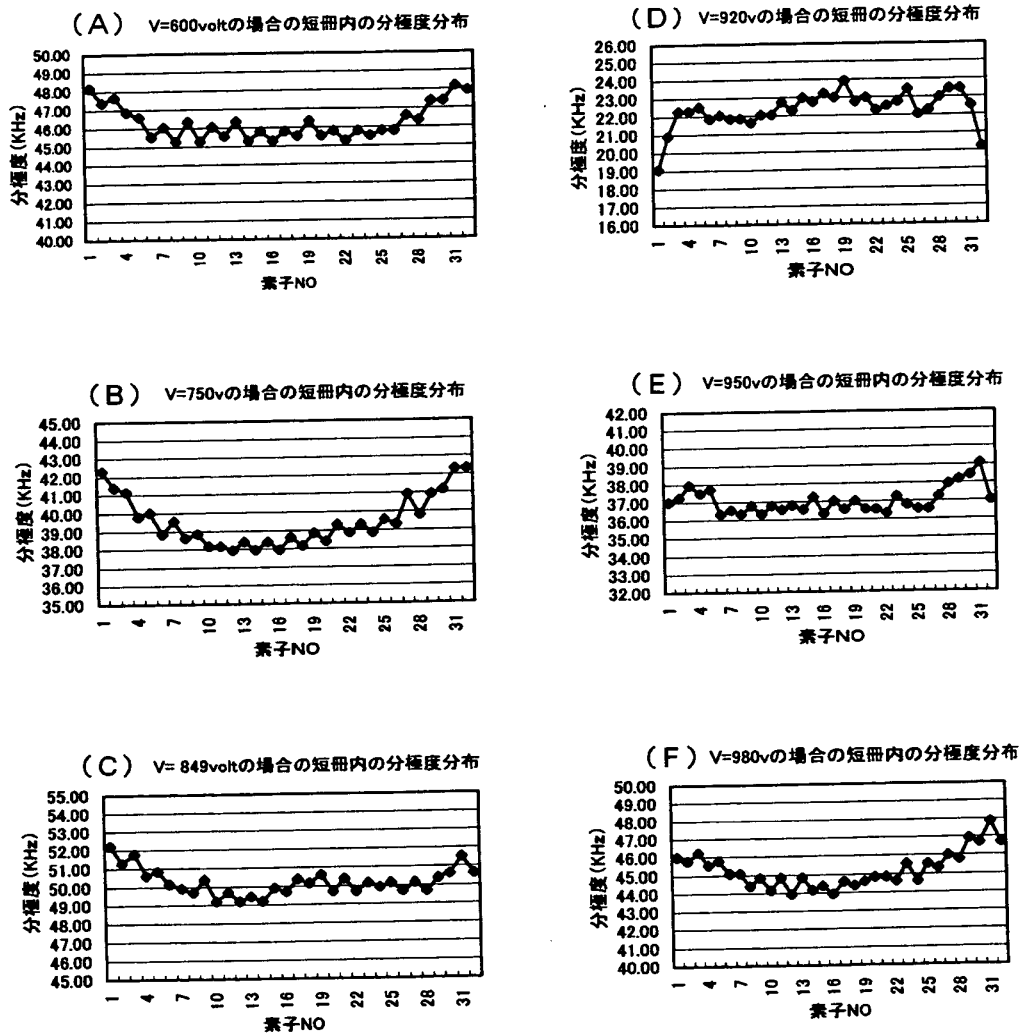
【図 8】



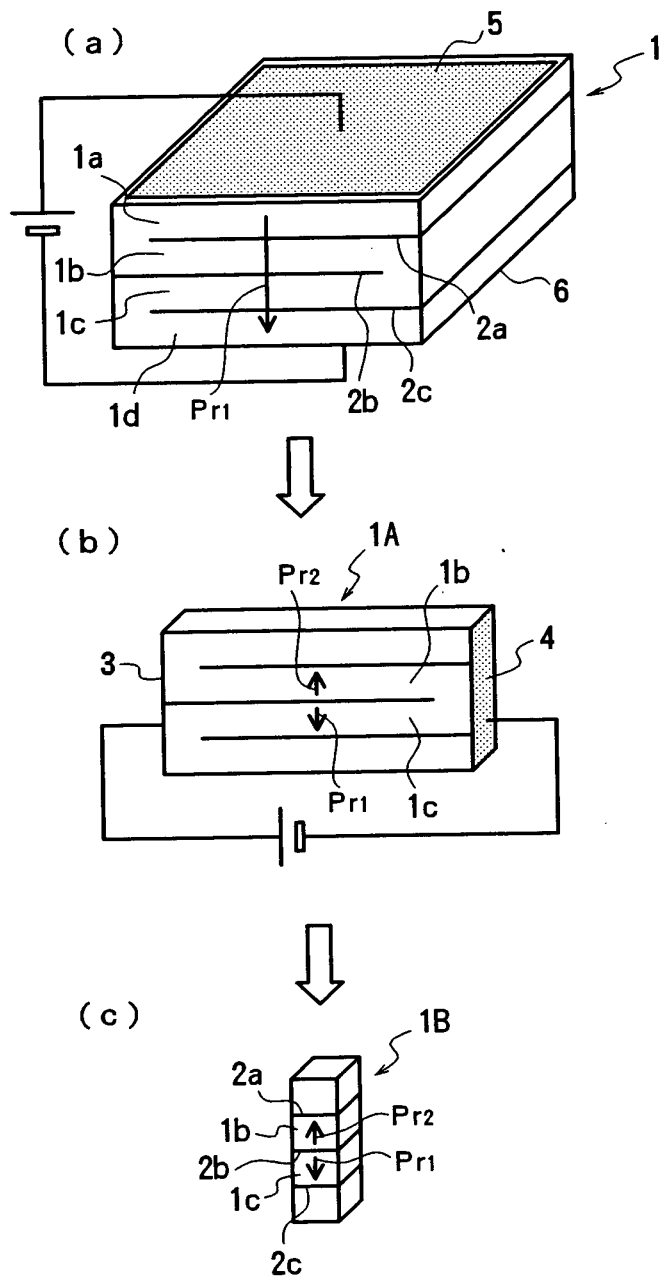
【図 9】



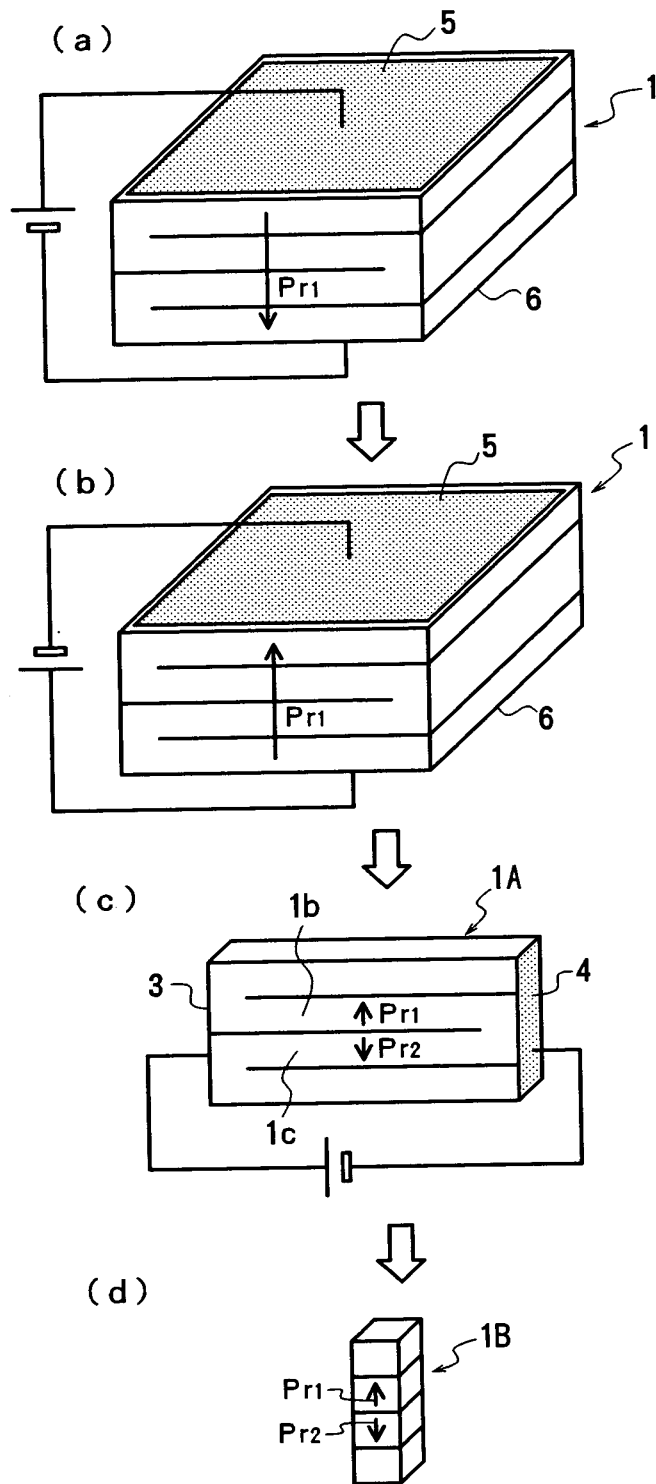
【図10】



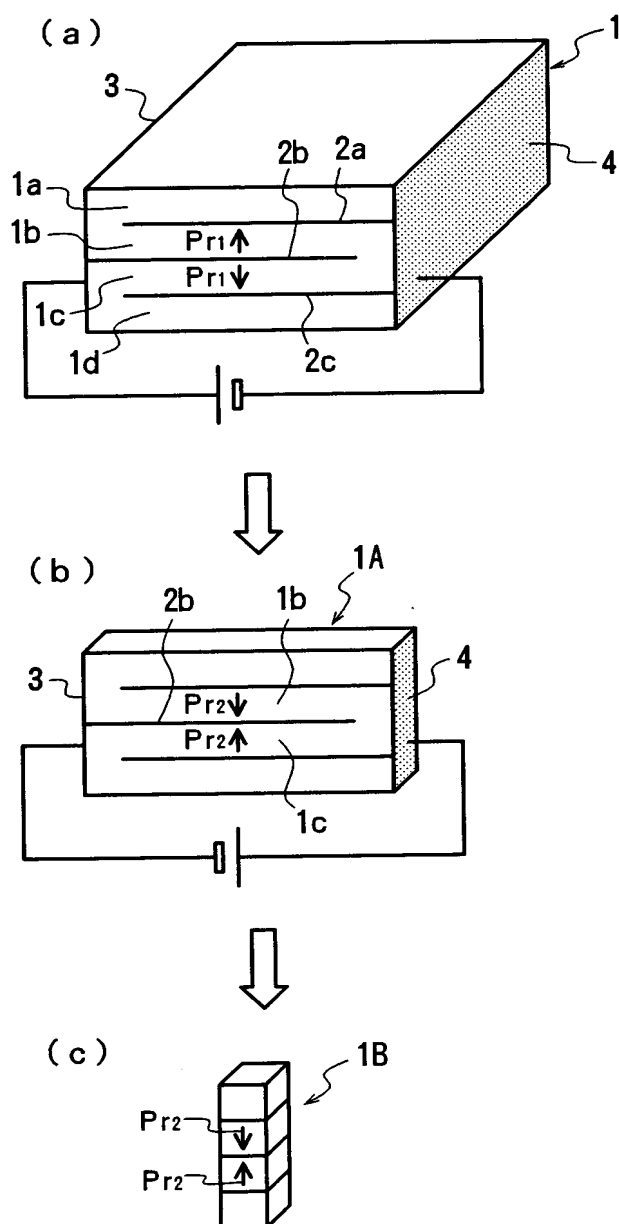
【図 1 1】



【図 12】



【図 13】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 積層圧電体の分極度分布を均一にし、収率の向上を図る積層圧電体の分極方法を提供する。

【解決手段】 複数の圧電体層 1 a ～ 1 d と複数の内部電極 2 a ～ 2 c とを交互に積層し、隣合う圧電体層 1 b, 1 c を厚み方向に互いに逆方向に分極する積層圧電体 1 の分極方法において、積層圧電体 1 に対し厚み方向に一方向の電界を印加し、厚み方向に一様に分極する一次分極工程と、内部電極 2 b の両側の圧電体層 1 b, 1 c に逆向きの電界を印加し、内部電極 2 b の片側の圧電体層 1 b の分極軸のみを反転させる二次分極工程とを備える。二次分極は、分極軸が反転した圧電体層 1 b における二次分極後の残留分極度 P_{r2} が一次分極後の残留分極度 P_{r1} を越えない範囲で行われる。

【選択図】 図 6

特 2 0 0 1 - 0 2 5 1 6 0

認 定 ・ 付 加 情 報

特許出願の番号	特願 2 0 0 1 - 0 2 5 1 6 0
受付番号	5 0 1 0 0 1 4 0 2 3 6
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0 0 9 4
作成日	平成 1 3 年 2 月 2 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】 平成13年 2月 1日

次頁無

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000006231]

1. 変更年月日	1990年 8月28日
[変更理由]	新規登録
住 所	京都府長岡京市天神二丁目26番10号
氏 名	株式会社村田製作所